



科研进展

彭海琳课题组研制出单晶层状高介电材料Bi₂SeO₅

时间: 2023-03-11 来源: 作者: 编辑: 牛林

2023年3月9日, 北京大学化学与分子工程学院彭海琳教授研究团队在《自然—材料》(*Nature Materials*)在线发表了题为“Single-crystalline van der Waals layered dielectric with high dielectric constant”的研究论文, 报道了一种范德华层状高介电常数单晶材料Bi₂SeO₅。

nature materials

Letter

<https://doi.org/10.1038/s41563-023-01502-7>

Single-crystalline van der Waals layered dielectric with high dielectric constant

Received: 9 July 2022

Accepted: 9 February 2023

Published online: 09 March 2023

Check for updates

Congcong Zhang^{1†}, Teng Tu^{1†}, Jingyue Wang^{1,2†}, Yongchao Zhu^{1,2,3†}, Congwei Tan¹, Liang Chen², Mei Wu⁴, Ruixue Zhu⁴, Yizhou Liu², Hui Xia Fu^{2,4}, Jia Yu¹, Yichi Zhang¹, Xuzhong Cong¹, Xuehan Zhou¹, Jialij Zhao⁵, Tianran Li¹, Zhimin Liao⁶, Xiaosong Wu⁶, Keji Lai⁶, Binghai Yan⁶, Peng Gao⁶, Qianqian Huang⁷, Hai Xu², Huiping Hu², Hongtao Liu², Jianbo Yin^{8,9,10} & Hailin Peng^{1,10}✉

高性能介电材料在电子、电气、能量转换及电介质储能等领域具有广阔的应用前景。高介电常数和介电强度的先进电介质材料的开发备受关注。在新型纳米材料与器件研究领域, 俗称“白石墨”的六方氮化硼(hBN)被广泛用作电子封装材料与介电材料。hBN块体单晶因其良好的电绝缘性及范德华层状结构, 可解离成二维绝缘材料, 作为原子级平整的封装和介电层, 在二维材料各类新奇物性探索中发挥了重要作用。例如, 经hBN封装的二维材料中已观测到了分数量子霍尔效应、二维铁磁、二维超导等重要物理现象。然而, hBN的介电常数偏低($\kappa \approx 3.5$), 导致其电场调控能力不足和库伦屏蔽作用不强; 更重要的是, 高品质hBN块体单晶需要高温($>1500^\circ\text{C}$)和高压(约4万大气压)等苛刻的制备条件。生长速度缓慢的一种高介电常数层状单晶材料Bi₂SeO₅高效便捷的制备方法。他们通过化学气相运输法制备了Bi₂SeO₅层状单晶, 单晶横向尺寸达厘米级。Bi₂SeO₅单晶的层间结合力较弱, 通过机械解理法可制得大面积均匀、原子级平整的纳米薄片。电容-电压测量结合扫描探针微波成像技术表明, Bi₂SeO₅二维单晶的室温介电常数高达16.5, 远高于hBN。电学测量表明, Bi₂SeO₅二维单晶具有很高的介电强度, 其击穿场强高达10~30 MV/cm, 优于hBN样品。理论计算也表明, 高品质层状Bi₂SeO₅中较强的离子极化导致其兼具高介电常数与高击穿场强。

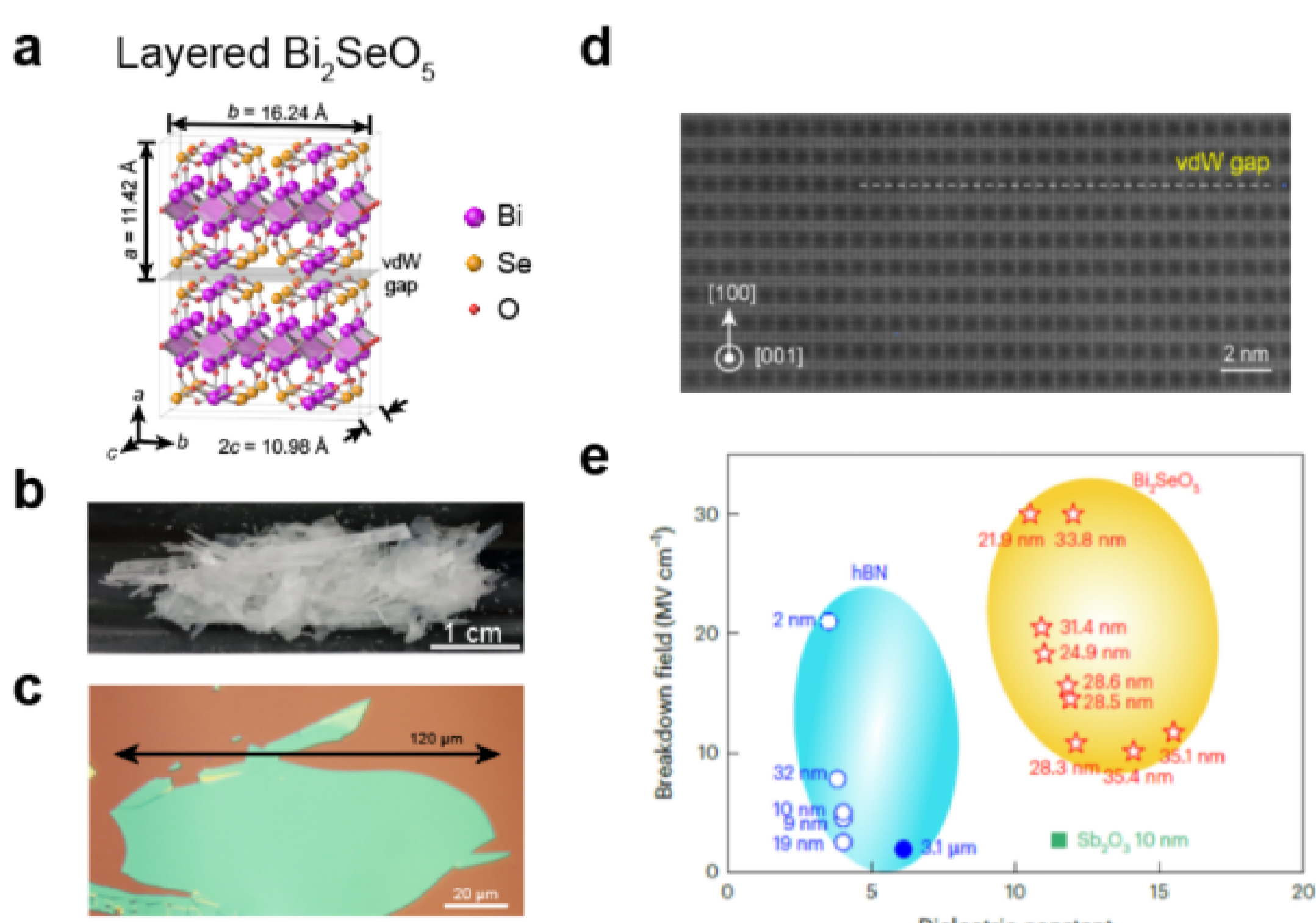


图1. 单晶层状高介电材料Bi₂SeO₅的结构与性质。(a)层状Bi₂SeO₅的晶体结构;(b)气相运输法制得的Bi₂SeO₅厘米级单晶的光学照片;(c)机械解理大面积Bi₂SeO₅纳米片光学照片;(d)层状Bi₂SeO₅的典型高分辨透射电镜成像;(e)层状Bi₂SeO₅的介电常数和击穿场强及与其他常见层状栅介质的比较。

高介电性能的Bi₂SeO₅二维单晶应用于电学器件中可获得很强的栅极调控能力。研究团队采用二维材料转移技术, 叠层构筑了Bi₂SeO₅二维纳米片封装的高迁移率二维半导体Bi₂O₂Se场效应霍尔器件。低温量子输运测量表明, 通过Bi₂SeO₅的封装, 二维半导体Bi₂O₂Se的载流子迁移率显著提升, 低温霍尔迁移率高达470000 cm²/Vs (迄今为止Bi₂O₂Se体系的最高迁移率), 并首次观测到Bi₂O₂Se的量子霍尔效应。二维单晶介电材料Bi₂SeO₅不仅可作为二维Bi₂O₂Se的理想封装材料与栅介质, 也适用于其他二维材料体系, 如MoS₂、石墨烯等。

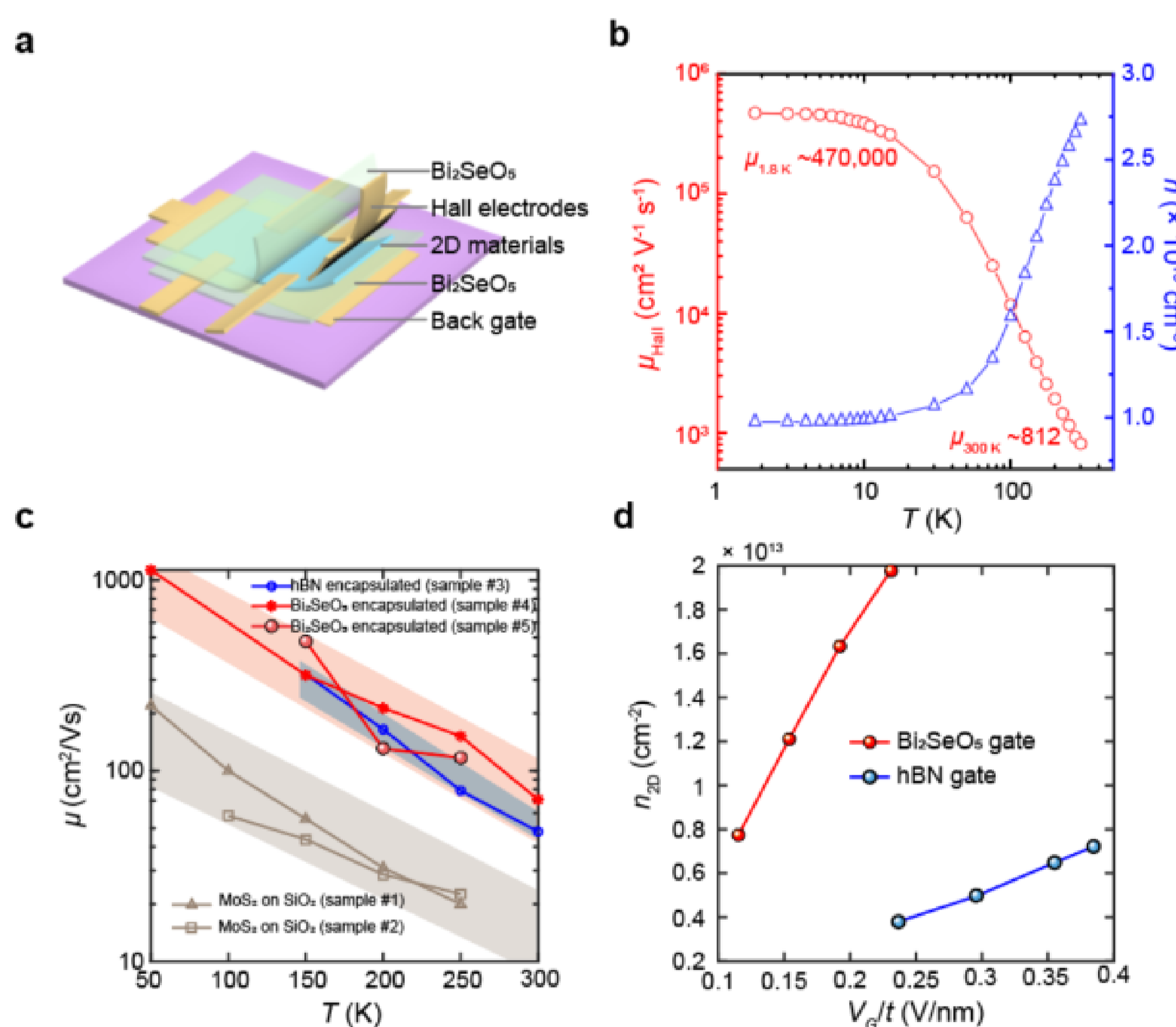


图2. 层状单晶Bi₂SeO₅纳米片的封装与栅控能力评估。(a)电学输运测试器件示意图;(b)Bi₂SeO₅封装二维Bi₂O₂Se纳米片的超高霍尔迁移率;(c)Bi₂SeO₅封装二维MoS₂的迁移率提升;(d)层状单晶Bi₂SeO₅与hBN的栅控能力对比。

高介电性能层状单晶材料Bi₂SeO₅的研发为纳米器件研究提供了优异的封装材料与栅介质材料, 使得二维材料载流子迁移率与载流子浓度具有高度可调性, 并可有效降低二维晶体管的功耗, 在未来微纳电子器件的发展中具有重要意义。此外, 兼具高介电常数和介电强度的电介质材料Bi₂SeO₅的开发, 有望突破介电瓶颈, 实现超高储能密度和效率。因此, 高介电性能的新型层状单晶材料Bi₂SeO₅的研发具有重要的基础科学意义和应用价值。

该研究成果以“单晶型范德华层状高介电常数材料”(Single-crystalline van der Waals layered dielectric with high dielectric constant)为题, 近日发表于*Nature Materials*。北京大学彭海琳教授是该论文工作的通讯作者, 第一作者包括北京大学化学与分子工程学院博士生张聪聪、涂腾、博雅博士后王瑛岳、中南大学在北大联合培养博士生朱永朝、以及北京石墨烯研究院、北京大学电子学院尹建波研究员。合作者还包括北京大学物理学院的吴孝松研究员、廖志敏教授、高鹏研究员、北京大学集成电路学院的黄芊芊研究员、以色列魏茨曼科学研究所的颜丙海教授、中南大学的徐海教授、胡慧萍教授、及美国德州大学奥斯汀分校的赖柯吉教授。

该研究得到国家自然科学基金委、科技部、北京分子科学国家研究中心、腾讯基金会、北京大学博雅博士后等机构和项目的资助, 并得到了北京大学化学与分子工程学院分子材料与纳米加工实验室(MMNL)仪器平台的支持。

论文链接: <https://www.nature.com/articles/s41563-023-01502-7>

